



Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO Circular Pada Frekuensi 2,35 Ghz Untuk Aplikasi LTE

Imam M.P Budi¹, Eka Setia Nugraha², Andika Agung³

^{1,2,3}Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom (ST3 Telkom)

^{1,2,3}Jalan D.I Panjaitan No. 128 Purwokerto Jawa Tengah

Email korespondensi : imam@st3telkom.ac.id

Dikirim 01 November 2016, Direvisi 09 November 2016, Diterima 28 Februari 2017

Abstrak - *LTE (long Term Evolution)* merupakan teknologi komunikasi *wireless* generasi keempat yang saat ini sedang mengalami perkembangan. Salah satu perangkat yang sangat dibutuhkan pada teknologi tersebut adalah antena. Teknik yang digunakan adalah teknik MIMO. Teknik MIMO menggunakan multiantena baik di sisi *transmitter* maupun di sisi *receiver* dengan koefisien korelasi di bawah 0,2. Untuk menghasilkan nilai koefisien korelasi di bawah 0,2, antena menggunakan $\lambda/2$ untuk jarak antar dua antena. Perancangan dan realisasi antena pada penelitian ini dipergunakan untuk aplikasi *LTE* yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz sampai 2,4 GHz. Simulasi antena menunjukkan frekuensi kerja yang direncanakan yaitu antara 2,3 GHz – 2,4 GHz, memiliki *Return Loss* -38,582 dB dan *VSWR* 1,0238 pada frekuensi tengah 2,350 MHz, *gain* sebesar 4,332 dB. Hasil pengukuran antena satu terdapat pergeseran frekuensi dari 2,300 MHz - 2,400 MHz menjadi 2,310 - 2,384 MHz, antena ini memiliki *Return Loss* -35,476 dB dan *VSWR* 1,03. *Bandwidth* 74 Mh., Untuk antena dua terdapat pergeseran frekuensi menjadi 2,310 - 2,382 MHz. dengan *Return Loss* -33,637 dB dan *VSWR* 1,042. *Bandwidth* 72 MHz. Pada frekuensi 2,35 GHz *gain* sebesar 8 dBi dengan pola radiasi *unidirectional* dan polarisasi *elips*, Dari perancangan dan analisis tersebut, maka antena ini dapat digunakan sebagai antena teknologi *LTE*.

Kata Kunci - Antena Mikrostrip *MIMO*, *LTE*, *Gain*, *VSWR*, *Bandwidth* dan Frekuensi,

Abstract - *LTE (Long Term Evolution)* is the fourth generation of wireless communication technology which is currently undergoing development. One device that is needed in these technologies is the antenna. The technique used is the technique of MIMO. Multiantenna MIMO technique uses both sides of the transmitter and receiver side with correlation coefficient below 0.2. To produce a correlation coefficient below 0.2, the antenna using $\lambda/2$ for the distance between the two antennas. Design and realization of the antenna in this paper is used for *LTE* applications which work at a frequency of 2.3 GHz to 2.4 GHz. Antenna simulation shows the frequency of work planned is between 2.3 GHz - 2.4 GHz, has a *Return Loss* and *VSWR* 1.0238 -38.582 dB at 2350 MHz center frequency, a gain of 4.332 dBi. The measurement results of the antenna are frequency shift of 2.300 MHz – 2.400 MHz to 2.310-2.384 MHz, this antenna has -35.476 dB *Return Loss* and *VSWR* 1.034. *Bandwidth* 74 MHz. For two antenna are frequency shift into 2.310-2.382 MHz, with -33.637 dB *Return Loss* and *VSWR* 1.042. *Bandwidth* 72 MHz. At 2.35 GHz frequency gain of 8 dBi with radiation pattern *unidirectional* and elliptical polarization. From the design and the analysis, the antenna can be used as an antenna for *LTE* technology.

Keywords - Microstrip MIMO Antenna, *LTE*, *Gain*, *VSWR*, *Bandwidth* and Frequency

I. PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi dengan media kabel (*wireline*) yang kini telah mulai ditinggalkan dan berganti dengan teknologi tanpa kabel (*wireless*) yang memanfaatkan gelombang radio sebagai media transmisinya. Antena mikrostrip dengan *patch circular* akan lebih mudah dimodifikasi untuk menghasilkan

jarak nilai impedansi, pola radiasi, dan frekuensi kerja [1]. Untuk menganalisis antena mikrostrip *patch circular* dapat menggunakan banyak metode, termasuk diantaranya dengan menggunakan model rongga (*cavity model*) [2]. Beberapa keuntungan pemakaian utama antena mikrostrip adalah memiliki beban ringan dan bentuk yang kecil, biaya fabrikasi rendah maka dapat diproduksi dalam jumlah yang banyak,

mendukung adanya linear serta polarisasi sirkular, mampu beroperasi pada dua atau tiga frekuensi kerja, mekanik kuat ketika dipasang pada permukaan kaku [3].

Di masa mendatang dapat diperkirakan teknologi tersebut akan mendapatkan perhatian khusus, karena layanan data akan lebih dibutuhkan dari pada layanan suara. Tentu saja teknologi telekomunikasi yang dibutuhkan harus mampu menjamin kecepatan transfer data yang tinggi dan *QOS* yang *reliable*. Satu teknologi telekomunikasi yang saat ini paling banyak dikembangkan adalah 3GPP *Long Term Evolution*, atau lebih dikenal dengan sebutan *LTE* dan dipasarkan dengan nama 4G.

LTE merupakan sebuah standar komunikasi nirkabel berbasis jaringan *GSM/EDGE* dan *UMTS/HSDPA* untuk akses data kecepatan tinggi menggunakan telepon seluler maupun perangkat *mobile* lainnya. Banyak komponen-komponen yang mendukung implementasi *LTE*. Salah satu pendukungnya yaitu dari segi transmisi. Dibutuhkan sistem transmisi yang sesuai dengan karakteristik *LTE*. Perangkat transmisi yang dimaksud adalah antena. Antena mikrostrip dipilih karena murah dalam fabrikasi, bobotnya ringan dan dimensinya relatif kecil. Dalam teknologi *LTE*, banyak teknik yang dapat meningkatkan kualitas performansi *LTE*, salah satunya adalah teknik antena *MIMO* yang merupakan sistem *multiple* antena baik di sisi *transmitter* maupun di sisi *receiver*.

Mengingat pentingnya peranan antena pada komunikasi *wireless*, maka pada penelitian ini akan dirancang, disimulasikan dan direalisasikan sebuah antena yang mampu bekerja pada frekuensi *LTE* yaitu pada frekuensi 2,35 GHz. Penelitian ini membahas mengenai pembuatan *design*, simulasi dan realisasi antena mikrostrip *MIMO circular* pada frekuensi 2,35 GHz yang proses *design* simulasinya menggunakan software *CST Studio 2012*.

Masalah penelitian yang dikaji adalah bagaimana cara merancang dan merealisasikan antena mikrostrip *MIMO circular* pada frekuensi 2,35 GHz untuk aplikasi *LTE* dan menguji hasil rancangan pada *CST Studio 2012* untuk melihat hubungan antar parameter antena terhadap unjuk kerja antena dan membandingkan serta menganalisa perbandingan hasil pengukuran tiap parameter dari hasil pengukuran simulasi dan pengukuran perangkat. Makalah ini disusun sebagai berikut : BAB I menjelaskan pendahuluan, BAB II menjelaskan metode penelitian, BAB III menjelaskan hasil penelitian, BAB IV menjelaskan pembahasan penelitian, BAB V menjelaskan kesimpulan dan saran.

II. METODE PENELITIAN

Antena yang akan diteliti dan direalisasikan merupakan antena mikrostrip *MIMO circular* yang memiliki frekuensi kerja 2,35 GHz. Penelitian yang

dilakukan tidak sampai ke tahap implementasi namun hanya sebatas realisasi dari *design* antena yang telah disimulasikan menjadi bentuk fisik antena. Pada penelitian ini parameter yang diamati adalah *VSWR*, *Gain* antena, *Return loss*, polarisasi antena, *bandwidth*, dan pola radiasi antena.

A. Antena Mikrostrip Circular

Antena adalah sebuah komponen yang dirancang untuk bisa memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik [1]. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah elemen dasar yaitu peradiasi (*radiator*), elemen substrat (*substrate*), dan elemen pentanahan (*ground*) [4].

Antena mikrostrip dengan *patch* lingkaran ini memiliki performa yang sama dengan antena mikrostrip segiempat. Dengan teknik pengaplikasian yang digunakan misalnya teknik *array*, *patch circular* akan menghasilkan keuntungan dibandingkan dengan *patch* lainnya. Selain itu, antena ini lebih mudah untuk dimodifikasi agar menghasilkan jarak nilai impedansi, pola radiasi dan frekuensi kerja [5].

Tahapan awal perancangan antena adalah perhitungan nilai dimensi antena yang diperlukan untuk proses *design* antena. Dalam perancangan antena, ukuran dimensi antena akan sangat mempengaruhi karakteristik antena yang akan direalisasikan. Secara umum nilai frekuensi kerja yang digunakan akan menentukan fisik dari dimensi antena, semakin tinggi frekuensi maka dimensi antena akan semakin kecil. Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini adalah 2,3 GHz – 2,4 GHz (Frekuensi untuk *LTE*). Untuk perhitungan *f* dimensi antena terlebih dahulu ditetapkan nilai.

- Frekuensi tengah = 2350 MHz
- ϵ_r bahan FR₄ (*Efoxy*) = 4,4
- μ_r = mendekati 1 (Udara)
- tebal *patch* = 0,035 mm
- tebal *substrat* = 1,6 mm

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk perhitungan dimensi antena [6].

- Menentukan karakteristik antena.

$$F_C = \frac{F_H + F_L}{2} \quad (1)$$

- Menentukan fungsi logaritmik peradiasi.

$$F = \frac{8,794 \times 10^9}{F_C \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

- Menentukan jari-jari elemen peradiasi.

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} [\ln(\frac{\pi F}{2h}) + 1,7726]\right\}^{1/2}} \quad (3)$$

- Menentukan B dari nilai impedansi 50 Ω .

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

- Menentukan lebar saluran pencatu.

$$W = \frac{2 \times 1,6}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2 \times B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \times \epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (5)$$

6. Menentukan panjang saluran pencatu.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (6)$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

$$L_t = \frac{1}{4} \times \lambda_d \quad (8)$$

7. Menentukan dimensi minimum ground plane :

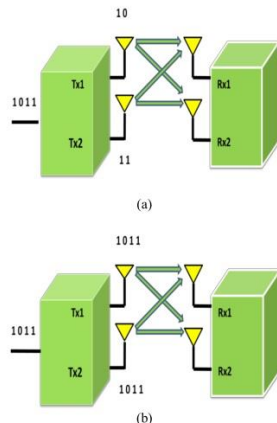
$$L_g = 6h + R \quad (9)$$

$$W_g = 6h + \frac{\pi}{2} R \quad (10)$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1) sampai dengan (10) akan didapatkan nilai-nilai dimensi antena.

B. MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Teknologi LTE menggunakan MIMO (Multiple Input Multiple Output) yang merupakan teknologi multi antena pada pengirim dan penerima. MIMO berfungsi untuk menanggulangi efek negatif dari *multipath fading*. Teknologi MIMO dapat menghasilkan frekuensi yang lebih efisien yaitu dengan mengirimkan informasi yang sama dari dua atau lebih pemancar ke penerima, sehingga mengurangi kemungkinan informasi yang hilang dibanding dengan menggunakan pemancar tunggal.

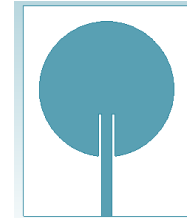


Gambar 1. Konfigurasi MIMO. (a) *Spatial Multiplexing*, (b) *Transmit Diversity* [7]

Pada umumnya teknik MIMO terdiri atas teknik *spatial multiplexing* dan *transmit diversity* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Teknik *spatial multiplexing* mengirim dua data yang berbeda pada masing-masing antena pemancar seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (a), sedangkan teknik *transmit diversity* mengirim dua data yang sama pada masing-masing antena pemancar seperti pada Gambar 1 (b), masing-masing teknik memiliki keuntungan tersendiri tergantung dari *scenario* yang ada. Misalnya, pada beban jaringan yang tinggi atau pada tepi sel lebih cocok menggunakan teknik *transmit diversity*. Dan pada kondisi sel kecil dengan kondisi SNR tinggi, *special multiplexing* lebih baik digunakan untuk memberikan *bit rate* yang tinggi [7].

C. Teknik E-Shaped

Teknik *e-shaped* merupakan teknik memotong bagian *patch* dengan dua buah slot yang berbentuk persegi panjang di antara saluran pencatu antena yang ditentukan dari LE (lebar *patch*) dan PE (panjang *patch*). Keuntungan menggunakan teknik ini yaitu dapat meningkatkan kinerja dari *return loss* dan *bandwidth*. Gambar 2 merupakan antena mikrostrip *circular* menggunakan teknik *e-shaped* [11].



Gambar 2. Antena Mikrostrip Menggunakan Teknik E-Shaped [11]

D. Parameter Antena Mikrostrip

Sebuah mikrostrip MIMO *circular* yang memiliki parameter antena antara lain *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *gain* antena, *return loss*, polarisasi antena. Realisasi yang dilakukan tidak sampai ke tahap implementasi namun hanya sebatas realisasi dari *design* antena yang telah disimulasikan menjadi bentuk fisik antena. Pada penelitian ini parameter yang diamati adalah VSWR, *Gain* antena, *Return loss*, polarisasi antena, *bandwidth*, dan pola radiasi antena.

a) Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$) [5]. Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Pada umumnya nilai VSWR yang dianggap baik adalah $VSWR \leq 2$. Maka dari itu pada penelitian ini, nilai VSWR yang diharapkan adalah kurang dari 2. Nilai dari VSWR dapat dicari berdasarkan Persamaan (11)

$$VSWR = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (11)$$

Tegangan koefisien refleksi memiliki nilai kompleks, yang menunjukkan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa permasalahan yang sederhana, bagian imajiner dari Γ berada pada angka 0, maka.

- $\Gamma = -1$: Pantulan negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat
- $\Gamma = 0$: Tidak terjadi pantulan, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna
- $\Gamma = +1$: Pantulan positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka

b) Gain Antena

Sebuah *gain* memiliki keterkaitan dengan kemampuan antena mengarahkan radiasi sinyalnya dan juga penerimaan sinyal dari arah tertentu. *Gain* suatu antena merupakan perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antena terhadap intensitas radiasi antena referensi dengan daya *input* yang sama. Besarnya *gain* antena dinyatakan dalam satuan dB terhadap antena referensi. Dengan menggunakan persamaan *Friss* akan diketahui *gain* dari kedua antena tersebut. Besarnya *gain* antena dinyatakan dalam satuan dBi. Persamaan *Friss* untuk menghitung nilai *gain* dapat dilihat pada Persamaan (1) [8].

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (12)$$

Dimana :

$(G_{ot})_{dB}$ = gain antena transmitter (dB)

$(G_{or})_{dB}$ = gain antena receiver (dB)

P_r = receive power (W)

P_t = transmitted power (W)

R = diagonal antena (m)

λ = panjang gelombang (m)

c) Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya ketidaksesuaian impedansi (*mismatched*) antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena).

d) Polarisasi Antena

Polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena [9]. Definisi lain adalah arah gerak medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antena pada *lobe* utamanya. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum. Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Polarisasi diklasifikasikan menjadi tiga yaitu, polarisasi *linear*, *circular* (melingkar) serta *elliptical* (*elips*).

Umumnya, prinsip pengukuran polarisasi dilakukan dengan titik koordinat perputaran secara vertikal yang menghadap pada antena pemancar seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (13).

$$AR = \frac{OA}{OB} \quad (13)$$

e) Bandwidth

Bandwidth sebuah antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana kinerja antena yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*,

polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standar [10]. Pada pembuatan antena yang dilakukan kali ini rentang frekuensi yang digunakan adalah dari 2,300 GHz - 2,400 GHz dengan nilai frekuensi *center*-nya pada frekuensi 2,35 GHz.

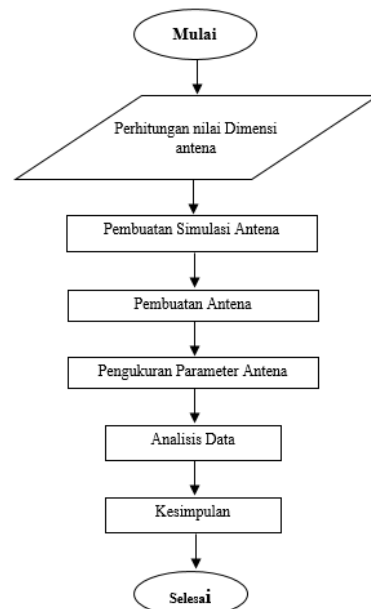
Pada umumnya kriteria *bandwidth* antena adalah besarnya perubahan impedansi antena tersebut terhadap perubahan frekuensi kerja dari frekuensi tengahnya. Perubahan impedansi antena biasanya ditunjukkan oleh perubahan harga VSWR maupun *return loss*. Jadi, *bandwidth* antena dapat diartikan sebagai lebar bidang frekuensi untuk VSWR atau *return loss* dibawah suatu harga tertentu.

f) Pola Radiasi Antena

Pola radiasi adalah bentuk pancaran dari sebuah antena dalam bentuk koordinat bola yang direpresentasikan oleh fungsi (θ, ϕ) . Pola radiasi sebuah antena terbagi menjadi tiga jenis yaitu pola radiasi *unidirectional*, *omnidirectional*, *bidirectional* dan *isotropic*.

E. Perancangan dan Simulasi

Penelitian ini terbagi menjadi 4 tahapan pokok yaitu perancangan, simulasi, pabrikasi dan pengukuran antena. Tahapan yang dilakukan dapat dilihat dalam diagram alir pengerjaan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Pengerjaan

Pada tahap awal perancangan ditentukan terlebih dahulu antena seperti apa yang akan dirancang.

F. Perancangan Antena

Tahapan awal perancangan antena adalah perhitungan nilai dimensi antena yang diperlukan untuk proses *design* antena. Berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan (1) sampai dengan (10) didapatkan nilai-nilai dimensi antena seperti pada Tabel

1 yang akan digunakan dalam mendesain antena mikrostrip *circular patch*. Tabel tersebut akan digunakan menjadi acuan dalam mendesain antena, dengan menggunakan *software simulasi* Microwave Studio.

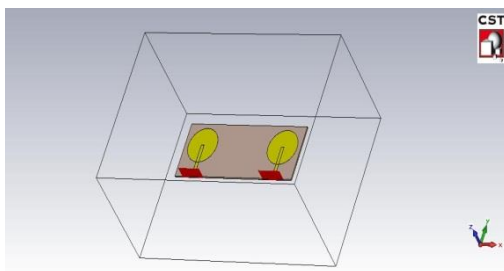
Tabel 1. Hasil Pehitungan Dimensi Antena

Komponen	Simbol Komponen / Parameter List	Dimensi (mm)
Jari-jari Patch (R)	<i>a</i>	17,840
Tebal Patch	<i>TP</i>	0,035
Lebar Stripline	<i>LS</i>	3,057
Panjang Stripline	<i>PS</i>	15,215
Panjang Ground Plane	<i>LG</i>	17,85
Lebar Ground Plane	<i>WG</i>	28,02
Tebal Substrate	<i>TS</i>	1,6
Pengali Jumlah Patch	<i>n</i>	1
Jarak antar elemen antena	<i>D</i>	63,830
Jarak Patch dengan tepi Substrate	<i>Wg</i>	4,5
Lebar E-Shaped	<i>l</i>	1
Panjang E-Shaped	<i>t</i>	12,55

Langkah selanjutnya adalah proses pembuatan rancangan / *design* antena dengan menggunakan *software CST Studio 2012*. Proses pembuatan *design* menggunakan *software CST Studio 2012* yang bertujuan untuk memvisualisasikan antena. Pembuatan *design* awal antena menggunakan nilai-nilai dimensi antena yang diperoleh dari hasil perhitungan.

G. Simulasi Antena

Dengan menggunakan *software CST* dapat dilihat parameter antena yang diamati. Proses awal *running* simulasi didapatkan nilai parameter yang merupakan hasil simulasi tanpa merubah nilai dimensi antena (nilai dimensi antena sesuai dengan hasil perhitungan), pada penelitian ini hasil dimulasi dengan menggunakan dimensi antena berdasarkan nilai perhitungan belum mendapatkan nilai VSWR dibawah 2.

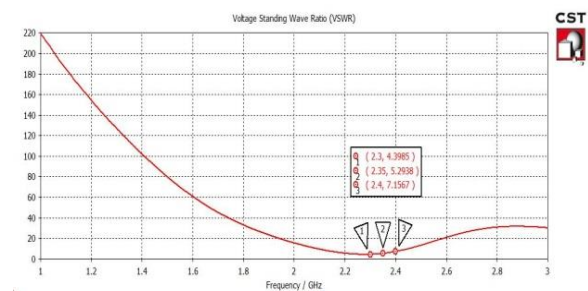


Gambar 4. Design Antena Mikrostrip Circular MIMO

Setelah proses *design* dilakukan dan selanjutnya akan dilakukan proses *running* simulasi untuk mendapatkan nilai parameter yang akan dialami. Hasil awal *running* simulasi tanpa merubah nilai dimensi antena (nilai dimensi antena sesuai dengan hasil

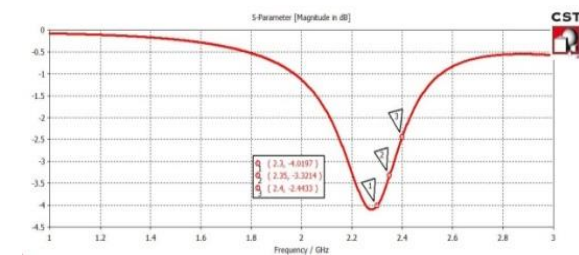
perhitungan). Sebelum dimulai simulasi *running* CST, ada beberapa parameter yang harus diatur terlebih dahulu, seperti parameter frekuensi kerja, *boundary*, medan *H-Field* dan *E-Field*.

Maka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, jika hasil simulasi belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan (nilai VSWR masih lebih dari 2) maka akan dilakukan optimasi perancangan pada *software* CST dengan melakukan karakterisasi atau penyesuaian dimensi antena. Untuk frekuensi rendah 2,3 GHz, VSWR berada pada 4,3985, frekuensi tengah 2,35 GHz berada pada 5,2938, dan pada frekuensi tinggi 2,4 GHz berada pada 7,1567. Dari hasil yang diamati masih jauh dari parameter yang diinginkan.



Gambar 5. Nilai VSWR Dimensi Perhitungan

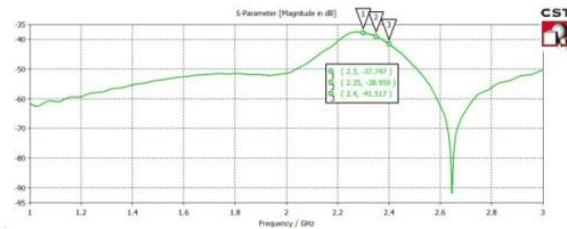
Setelah hasil dari VSWR diamati, berikutnya hasil dari S-Parameter S1.1 seperti Gambar 6 yang dapat menunjukkan frekuensi kerja antena sebelum dioptimasi dan nilai dari *Return loss*.



Gambar 6. Nilai S-Parameter S1.1 dengan Dimensi Perhitungan

Dari hasil yang ditunjukkan grafik S-Parameter S1.1, menunjukkan bahwa antena yang didesain mengalami pergeseran frekuensi kerja dan tidak sesuai dengan parameter yang diinginkan. Nilai dari *return loss* S-Parameter S1.1 menunjukkan bahwa frekuensi rendah berada pada -4,0197 dB, frekuensi tengah berada pada -3,3214 dB, dan frekuensi tinggi berada pada -2,4433 dB. Hasil yang ditunjukkan S-Parameter S1.1 bahwa nilai dari *return loss* frekuensi kerja masih tinggi atau mendekati 0.

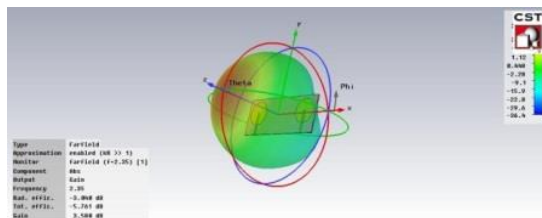
Dari grafik S-Parameter S2.1 dapat diamati hasil koefisien kopling dari kedua antena yang saling mempengaruhi seperti pada Gambar 7. Grafik S2.1 sudah menunjukkan hasil dari koefisien kopling yang baik untuk korelasi antara kedua antena.



Gambar 7. Nilai S-Parameter S2.1 Dengan Dimensi Perhitungan

H. Simulasi Gain, Pola Radiasi, dan Polarisasi

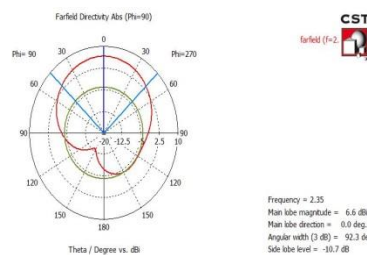
Pada simulasi antena juga dapat diamati nilai dari gain, pola radiasi, dan polarisasi atau arah pancar dari antena yang dibuat menggunakan simulasi CST Studio 2012. Gambar dari gain antena yang disimulasikan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai Dari Gain Dimensi Perhitungan

Pada Gambar 8, gain dari hasil perhitungan sebelum dioptimasi sudah menunjukkan diatas 3 dB nilainya.

Dari simulasi yang sama dapat diamati Pola Radiasi dan Polarisasi Antena pada Gambar 9.



Gambar 9. Polarisasi Dan Polaradiasi Dengan Dimensi Perhitungan

Pada Gambar 9 menunjukkan polarisasi antena yang dibuat sebelum optimasi adalah *linier* dan polarisasinya *unidirection*.

I. Optimasi Simulasi Antena

Pada awal simulasi dengan hasil nilai perhitungan awal dimensi antena tanpa dioptimasi, dapat dilihat bahwa antena yang telah disimulasikan tidak bekerja pada rentang frekuensi yang telah ditentukan. Perubahan dimensi antena akan mempengaruhi nilai parameter yang diamati. Pada penelitian ini perubahan dimensi antena dimulai dari perubahan nilai dimensi untuk a, PS, PE, dan LE hingga didapat nilai VSWR yang kurang dari 2.

Dari hasil optimasi yang dilakukan, didapat nilai dimensi antena yang paling optimal seperti pada Tabel 2.

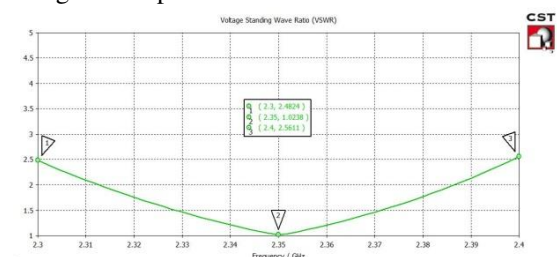
Tabel 2. Dimensi Antena Hasil Optimasi

Komponen	Simbol Komponen / Parameter List	Dimensi (mm)
Jari-jari Patch (R)	a	17.6609
Tebal Patch	TP	0,035
Lebar Stripline	LS	3,057
Panjang Stripline	PS	4,715
Panjang Ground Plane	LG	17,85
Lebar Ground Plane	WG	28,02
Tebal Substrate	TS	1,6
Lebar E-Shaped	LE	1
Panjang E-Shaped	PE	12,55
Pengali Jumlah Patch	n	1
Jarak antar elemen antena	D	63,828
Selisih Jarak antar patch dan substrate	Wg	4,5

Setelah proses optimasi dilakukan pada dimensi antena maka didapatkan hasil berupa nilai-nilai parameter yang berbeda dari hasil simulasi menggunakan nilai dimensi dari hasil perhitungan.

a) Nilai VSWR Hasil Optimasi

Untuk frekuensi rendah 2,3 GHz VSWR berada pada 4,3985, frekuensi tengah 2,35 GHz berada pada 5,2938, dan pada frekuensi tinggi 2,4 GHz berada pada 7,1567. Hasil optimasi menunjukkan bahwa nilai VSWR sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan seperti Gambar 10.



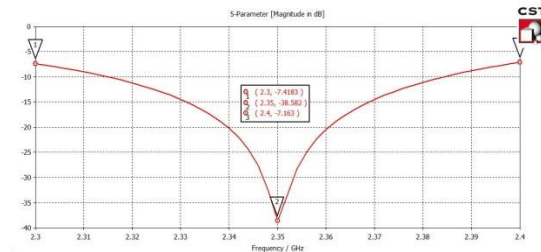
Gambar 10. VSWR Hasil Optimasi

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil optimasi yang memberikan perubahan dari nilai VSWR antena yang di desain. Untuk frekuensi rendah 2,3 GHz memiliki nilai VSWR 2,4824, untuk frekuensi tengah 2,35 GHz memiliki nilai VSWR mendekati 1 atau 1,0238, dan pada frekuensi tinggi 2,4 GHz memiliki nilai VSWR sebesar 2,5611. Dari hasil yang dapat diamati pada Gambar 10 menunjukkan perubahan turunya nilai VSWR yang signifikan hasil dari optimasi dimensi antena.

b) Nilai Return loss Hasil Optimasi

Dari hasil yang ditunjukkan grafik S-Parameter S1.1, menunjukkan bahwa antena yang di desain mengalami pergeseran frekuensi kerja dan tidak sesuai dengan parameter yang diinginkan. Nilai dari *return loss* S-Parameter S1.1 menunjukkan

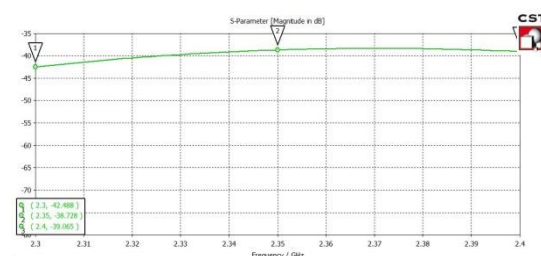
bahwa frekuensi rendah berada pada -4,0197 dB, frekuensi tengah berada pada -3,3214 dB, dan frekuensi tinggi berada pada -2,4433 dB. Hasil yang ditunjukkan S-Parameter S1.1 bahwa nilai dari *return loss* frekuensi kerja masih tinggi atau mendekati 0. Hasil ini terjadi sebelum dilakukan optimasi, tetapi setelah dilakukan optimasi hasilnya jadi optimal seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. S-Parameter S1.1 Hasil Optimasi

Pada Gambar 11 ditunjukkan hasil optimasi yang memberikan perubahan dari parameter S1.1 nilai *Return loss* yang dihasilkan menunjukkan kondisi bagus dan lebih kecil dibandingkan sebelum dioptimasi. Frekuensi kerja pada parameter S1.1 dapat diamati bahwa sudah bekerja sesuai spesifikasi yang diinginkan. Hasil dari frekuensi rendah 2,3 GHz menunjukkan nilai *return loss* sebesar -7,4183 dB, frekuensi tengah 2,35 GHz memiliki penurunan menjauhi kondisi 0 sebesar -38,582 dB, dan frekuensi tinggi 2,4 GHz mengalami penurunan menuju -7,163 dB. Kondisi ini sudah menunjukkan nilai kerja yang optimal untuk S-Parameter S1.1 setelah optimasi.

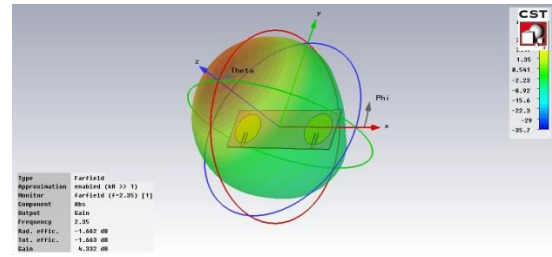
Untuk hasil S-Parameter S2.1 menunjukkan mengalami pergeseran yang perlahan tetapi masih dalam kondisi bagus seperti pada Gambar 12. S2.1 ini yang akan menentukan nilai dari koefisien korelasi yang sangat berperan penting dalam antena MIMO untuk aplikasi LTE.



Gambar 12. S-Parameter S2.1 Hasil Optimasi

c) Nilai Gain Hasil Optimasi

Hasil gain yang ditunjukkan setelah optimasi mengalami peningkatan yang bagus di atas 3 dB dan sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan seperti pada Gambar 13.

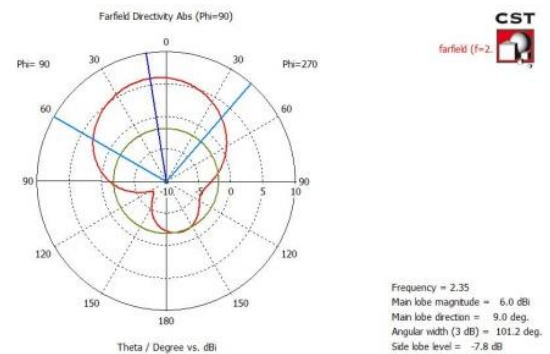


Gambar 13. Gain Hasil Optimasi

Berdasarkan Gambar 13 gain mengalami peningkatan dari nilai 3,580 dB menuju 4,332 dB, hal ini memberikan hasil yang baik karena gain sudah berada diatas 3 dB sesuai spesifikasi.

d) Hasil Polarisasi dan Polaradiasi Optimasi

Hasil dari polarisasi dan polaradiasi setelah optimasi, tidak terlalu menunjukkan perubahan yang signifikan dari Gambar 14. Namun hasil dari polaradiasi mengalami perubahan yang lebih menunjukkan kearah *unidirectional*.

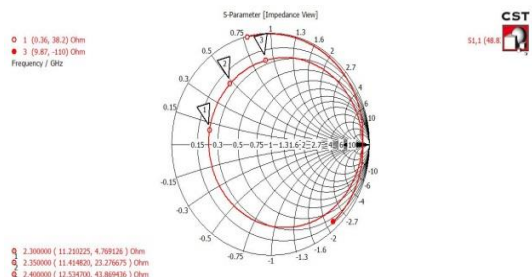


Gambar 14. Polaradiasi dan Polarisasi Hasil Optimasi

Hasil yang ditunjukkan dari gambar polaradiasi memberikan perubahan menuju *unidirectional*.

e) Hasil dari Smith Chart (*Matching Impedance*)

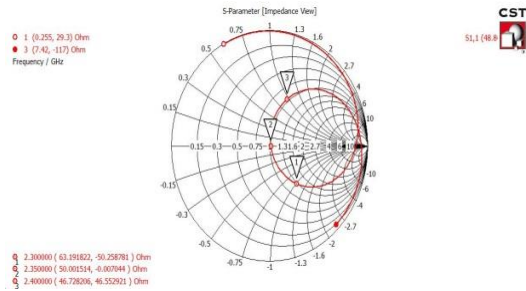
Hasil sebelumnya menunjukkan bahwa saluran pencatu impedansinya tidak *matching* dengan nilai impedansi sehingga nilai VSWR jauh dari 1 seperti Gambar 15.



Gambar 15. Matching Impedance Sebelum Optimasi

Pada Gambar 15 ditunjukkan nilai impedansi masukan tidak *matching* dengan nilai impedansi keluaran pada saluran pencatu. Impedansi yang digunakan sebesar 50 Ω , tetapi impedansi yang dihasilkan hanya sebesar 11 Ω . Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi agar dihasilkan impedansi

yang *matching* atau sesuai dengan spesifikasi yaitu 50 Ω seperti Gambar 16 hasil optimasi.

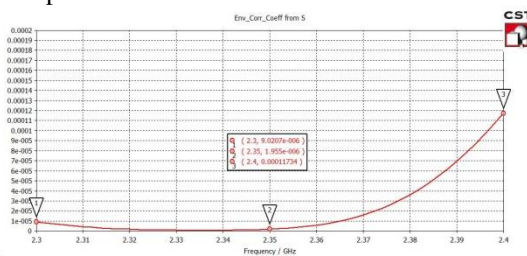


Gambar 16. Matching Impedance Optimasi

Dapat diamati dari Gambar 16 bahwa impedansi sudah sesuai dengan 50 Ω , yang dapat menghasilkan VSWR mendekati 1. Hal ini yang dapat dikatakan dengan *Matching Impedance*.

f) Hasil Coefficient Correlation MIMO

Koefisien korelasi merupakan salah satu parameter penting dalam antena yang menggunakan teknik MIMO, dikarenakan antena ini bersifat *multi input multi output*. Dimana antena satu dengan antena dua memiliki nilai korelasi tidak boleh lebih dari 0.2 atau < 0.2 . Hal ini berguna untuk mengurangi *error* yang terjadi saat transmisi antena berlangsung karena pengaruh antar kedua antena tersebut. Untuk dimensi antena yang telah dioptimasi memiliki nilai koefisien korelasi di bawah 0.2 seperti pada Gambar 17. Nilai tersebut sangat kecil untuk terjadinya kemungkinan *error* saat proses transmisi diantara kedua antena.



Gambar 17. Correlation Coefficient

J. Realisasi Sesuai Hasil Simulasi Dimensi Optimal

Pembuatan merupakan proses realisasi hasil model/design yang dibuat pada tahap simulasi ke dalam bentuk *real*. Tampilan dari antena yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Antena Mikrostrip MIMO Circular

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan nilai dimensi yang optimal, didapatkan nilai VSWR ≤ 2 untuk frekuensi kerja yang diamati. Dengan turunnnya nilai VSWR, maka nilai *return loss* juga akan

semakin kecil. Nilai VSWR, *return loss* dan *gain* dari hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil Simulasi Dengan Teknik E-Shaped

Parameter	Spesifikasi Awal	Frekuensi Kerja (GHz)		
		2,3	2,35	2,4
VSWR	≤ 2	2,4824	1,0238	2,5611
Bandwith	75	75	75	75
Return Loss (dB)	≤ -10	-7,4183	-38,582	-7,163
Impedansi (Ω)	50 Ω	63,19	50,00	46,73
Gain (dB)	≥ 3		4,332	

Tabel 4. Hasil Pengukuran Dengan Teknik E-Shaped

Parameter	Spesifikasi Awal	Frekuensi Kerja (GHz)		
		2,3	2,35	2,4
VSWR	≤ 2	1,905	1,034	1,916
Bandwith	75	74	74	74
Return Loss (dB)	≤ -10	-10,192	-35,476	-10,269
Impedansi (Ω)	50 Ω	86,22	49,00	31,04
Gain (dB)	≥ 3		8	

Dilihat dari hasil pengukuran nilai VSWR yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan kurang dari sama dengan ≤ 2 yang ditunjukkan dalam Tabel 4. Nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2.310 MHz ialah 1.905. VSWR di frekuensi center 2.350 MHz sebesar 1.034 sedangkan VSWR di frekuensi 2.384 MHz sebesar 1.916. Sehingga, semakin besar nilai VSWR yang dihasilkan maka sinyal pantul semakin buruk dan semakin kecil nilai VSWR yang dihasilkan maka sinyal pantul semakin bagus (kondisi ideal sama dengan 1).



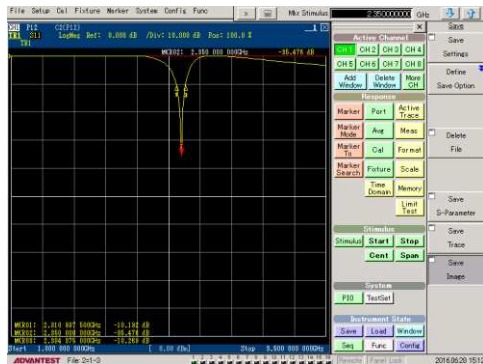
Gambar 19. Hasil Pengukuran Grafik SWR

Besar *Bandwidth* yang dihasilkan berdasarkan grafik SWR dapat dihitung seperti berikut.

$$\begin{aligned} BW &= F_h - F_l \\ &= (2.384 \text{ MHz} - 2.310 \text{ MHz}) \\ &= 74 \text{ MHz} \end{aligned}$$

Persentase yang diperoleh pada *Bandwidth* 74 MHz dapat dihitung.

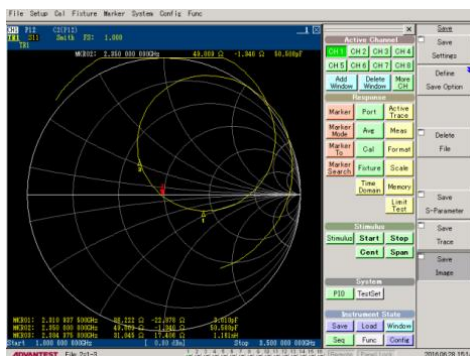
$$\begin{aligned} BW &= (f_h - f_l) / f_c \times 100 \% \\ &= (2.384 - 2.310) / 2.350 \times 100 \% \\ &= 3.149 \% \end{aligned}$$



Gambar 20. Hasil Pengukuran *Return loss*

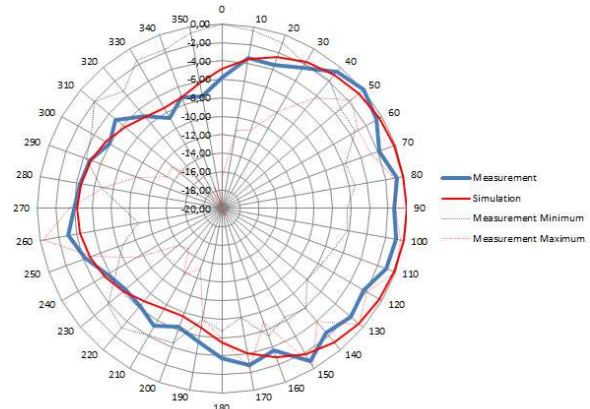
Idealnya nilai *return loss* yang dikatakan bekerja dengan baik yaitu kurang dari sama dengan ≤ -10 dB. Apabila nilai *return loss* ≥ -10 dB maka hal ini disebabkan karena ketidaksesuaian impedansi (*mismatched*) antara impedansi input antena dengan saluran transmisi. Pada Tabel 4 ditunjukkan nilai RL yang diperoleh pada parameter S11 yang diukur. Hasil pengukuran VSWR berpengaruh terhadap nilai RL yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan VSWR dan *return loss* memiliki hubungan pada prinsip kerja yang sama.

Pengukuran impedansi input antena bertujuan untuk mengetahui kondisi antena yang dibuat. Apabila hasil impedansi yang diperoleh mendekati nilai pencatu 50Ω dengan selisih 5 angka, maka kondisi ini sudah dinyatakan kondisi *matching*. Untuk nilai *impedance* yang dihasilkan pada pengukuran sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu mendekati 50Ω dengan nilai *impedance* sebesar 49Ω . Untuk mencapai nilai impedansi yang diinginkan harus dilakukan optimasi agar impedansi dapat *matching* sebesar 50Ω dengan cara perlahan – lahan.

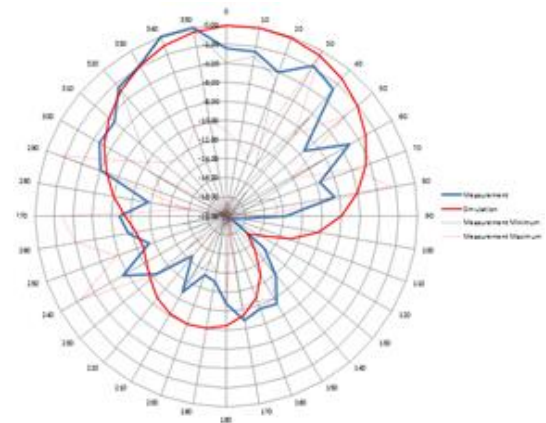


Gambar 21. Hasil Pengukuran *Impedance*

Jika dibandingkan dengan hasil simulasi terlihat bahwa posisi bagian depan pola radiasi antena pada simulasi sejajar dengan pola radiasi dalam pengukuran menunjukkan saling tegak lurus dengan arah *transmitter* dengan demikian level daya sinyal yang dihasilkan akan lebih baik dan maksimal. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa pola radiasi yang dihasilkan adalah *unidirectional* karena *main lobe* lebih menonjol pada satu arah pancaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22 dan 23.



Gambar 22. Grafik Pola Radiasi Hasil Simulasi dan Pengukuran Elevasi



Gambar 23. Grafik Pola Radiasi Hasil Simulasi dan Pengukuran Azimuth

Hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran polarisasi adalah jenis polarisasi antena, apabila jenis polarisasi antena penerima dan polarisasi antena pemancar tidak sama maka hal yang akan terjadi adalah hilangnya daya disebabkan jenis polarisasi yang tidak sama (*match*) atau dikenal dengan istilah *loss polarization*. Untuk mengetahui tipe polarisasi pada pengukuran yaitu menggunakan persamaan Axial Ratio.

$$\begin{aligned} AR &= \frac{OA}{OB} = \frac{9.2}{1.77} = 5,197740113 = 5.20 \\ AR &= \text{Elips} (1 \leq AR \leq \infty) \end{aligned}$$

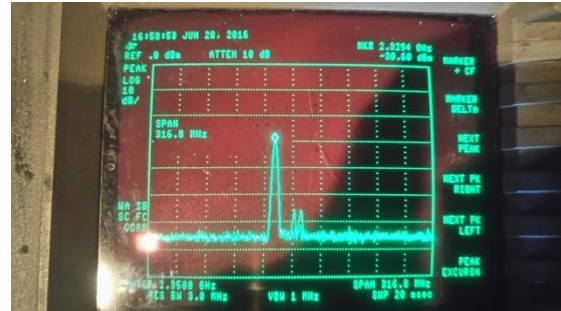
Sehingga pada Gambar 14 ditunjukkan hasil pengukuran polarisasi yang didapat yaitu polarisasi *elips*. Polarisasi *elips* terjadinya dikarenakan suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik diruang memiliki vektor medan elektrik (magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Dari hasil pengukuran polarisasi level sinyal yang diterima pada kondisi 0^0 dimana posisi antenna penerima menghadap sejajar dengan antenna pemancar level sinyal yang diterima sebesar 0.87 dB, namun jika dibandingkan pada kondisi 10^0 level sinyal yang diterima lebih bagus dari pada kondisi 0^0 yaitu sebesar 6.06 dB. Sedangkan pada kondisi 180^0 dimana posisi antenna penerima membelakangi antenna pemancar level sinyal terima 11,61 dB. Sehingga level sinyal terima pada pengukuran polarisasi antenna MIMO *patch circular* menghasilkan level sinyal yang cukup bagus.

Pengukuran gain bertujuan untuk mengetahui besar penguatan daya yang dihasilkan pada antenna yang dibuat. Besar kecilnya nilai gain disebut sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum terhadap intensitas radiasi maksimum antenna referensi, atau perbandingan antara kedua antenna yang identik dengan daya input yang sama. Penggunaan antenna yang identik pada pengukuran dikarenakan jenis polarisasi yang sama, apabila pada pengukuran jenis polarisasinya berbeda maka dapat menyebabkan *missed match* atau ketidakakuratan pada proses pengukuran.

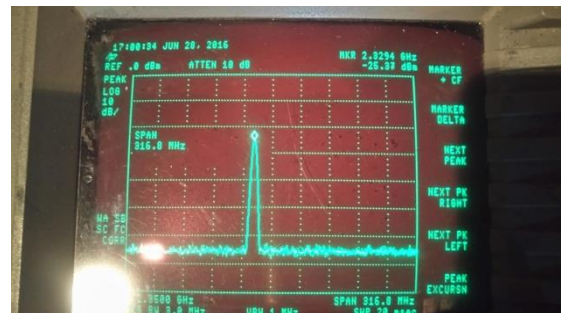
Antena referensi (Antena *horn*) yang digunakan pada pengukuran penelitian ini mempunyai gain sebesar 12 dB. Sehingga pada pengukuran gain membandingkan daya maksimum antenna AUT (*antenna under test*) yang dihasilkan dengan daya maksimum antenna referensi yang dihasilkan. Untuk menghitung nilai gain digunakan jarak lebih besar dari *far field region* sebesar 1.3 m, maka besar gain diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Gain} &= P_1 \text{ (dBm)} - P_2 \text{ (dBm)} + 12 \text{ dB} \\ &= (-32) - (-28) + 12 \\ &= 8 \text{ dB}\end{aligned}$$

Sehingga, besar gain yang diperoleh pada pengukuran antenna mikrostrip MIMO *patch circular* sebesar 8 dB, dari hasil pengukuran gain antenna sudah memenuhi spesifikasi lebih besar dari sama dengan ≥ 3 dB. Dimana P_1 merupakan level daya terima dari AUT yang dipancarkan melalui antenna referensi seperti *horn* dan P_2 merupakan level daya terima dari antenna referensi yang dipancarkan melalui AUT. Pengukuran ini dilakukan di dalam ruangan khusus untuk menghindari gangguan dari luar, seperti sinyal-sinyal lain.

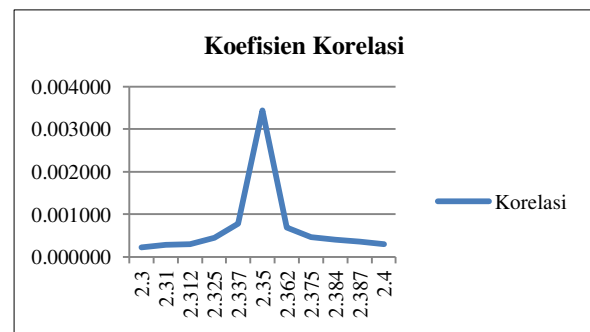


Gambar 24. Level Daya Terima AUT (RX)



Gambar 25. Level Daya Terima Antena Referensi (TX)

Pada hasil pengukuran antenna didapat nilai S_{11} , S_{12} , S_{21} , dan S_{22} sehingga didapat nilai korelasi antenna MIMO dengan menggunakan nilai-nilai tersebut. Grafik korelasi digambarkan dengan jarak antar elemen $\lambda/2$, tetap atau tidak mengalami perubahan jarak antar elemen dengan frekuensi yang sama. Antena MIMO sebagai bentuk multiantena, syarat antar antenna harus independen, antenna yang independen yang optimal adalah antenna memiliki nilai *cross correlation* antar antenna maksimal 0,2. Dimana dengan nilai *Cross Correlation* mendekati 0 maka semakin identik pola sinyalnya tidak ada korelasi. Semakin kecil nilai *Cross Correlation*, maka nilai *diversity gain* semakin bagus. Yang paling menentukan nilai *Cross Correlation* adalah S_{21} .



Gambar 26. Grafik Koefisien Korelasi Antena MIMO

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip MIMO *patch circular* adalah penggunaan nilai ϵ_r terhadap perancangan sangat berpengaruh, dimana semakin besar nilai ϵ_r yang digunakan maka frekuensi kerja yang dihasilkan semakin kecil, sebaliknya

semakin kecil nilai ϵ_r maka frekuensi yang diperoleh semakin besar. Penggunaan nilai frekuensi antena yang digunakan dapat mempengaruhi nilai dimensi antena, dimana semakin besar nilai frekuensi yang digunakan maka dimensi antena yang dihasilkan semakin kecil, sebaliknya semakin kecil nilai frekuensi yang dihasilkan maka dimensi antena yang dihasilkan akan semakin besar. Dari hasil perhitungan parameter antena secara teori dan kenyataan menghasilkan nilai yang hampir sama dengan VSWR dari pengukuran 1.034 dan VSWR 1,0238, *Return loss* pengukuran sebesar -35 dB dan *Return loss* secara teori -29 dB. Pada pengukuran VSWR yang didapat 1,034, *return loss* -35 dB bandwidth 74 MHz, gain 8 dB, impedansi 49 Ω , pola radiasi *unidirectional*. Pada simulasi VSWR yang didapat 1.0238, *return loss* -38,582 dB, bandwidth 75 MHz, gain 4.332 dB, impedansi 50.00 Ω , pola radiasi *unidirectional* dan polarisasi *elips* $AR = 5.20$ ($1 \leq AR \leq \infty$).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alaydrus, Mudrik. “*Antena Prinsip dan Aplikasi*”. Graha Ilmu. Yogyakarta. Cetakan pertama 2011.
- [2]. Neronzie Julardi, Ali Hanafiah Rambe “Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Patch* Circular (2,45 Ghz) Dengan Teknik *Planar Array* Sebagai Penguat Sinyal *Wi-Fi*”, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU).2013.
- [3]. Hanief Tegar Pambudhi 1, Darjat2, Ajub Ajulian Z , “Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip dengan Metode *Aperture Coupled Feed* pada Frekuensi 800 MHz”. *Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang*. 2010
- [4]. Widiyawati, Erna. “*Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip dengan Substrat Alumina Menggunakan Teknologi Thick Film untuk Aplikasi Radar Pengawas Pantai*”. IT Telkom. Bandung. 2013.
- [5]. Rambe, Ali Hanafiah, 2008, “*Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segi Empat Elemen Tunggal Dengan Pencatutan Aperture-Coupled Untuk Aplikasi CPE Pada Wimax*”. Jakarta, Universitas Indonesia.
- [6]. Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons, 1997).
- [7]. Wardhana, Lingga. “*2G/3G RF Planning and Optimization for Consultant*”. Penerbit www.nulisbuku.com. Jakarta Selatan. 2011.
- [8]. Kraus, J.D., Marhefka, Ronald J. “*Antennas For All Application*”. *Thrid Edition*. Mc Graw Hill Company. 2002.
- [9]. Alaydrus, Mudrik. “*Antena Prinsip dan Aplikasi*”. Graha Ilmu. Yogyakarta. Cetakan pertama 2011
- [10]. James, J.R., & Hall, P.S., *Handbook of Microstrip Antennas*, London: Peter Peregrinus Publisher Ltd, 1989.
- [11]. Shivani Chourasia.; Dr. Soni Changlani.; and Pooja Gupta., “Design and Compare Different Feed Length for Circular Shaped Patch Antenna”, India: Departement of ECE, LNCTS, Bhopal.